

Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 10078524
PUBLICATION DATE : 24-03-98

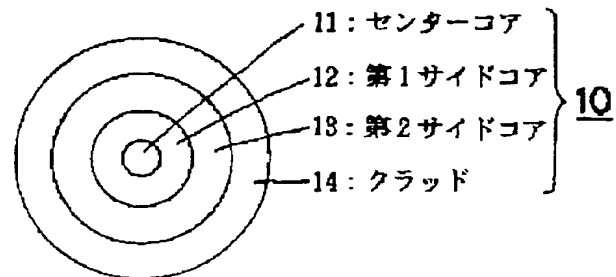
APPLICATION DATE : 05-09-96
APPLICATION NUMBER : 08235578

APPLICANT : SHIN ETSU CHEM CO LTD;

INVENTOR : HIRASAWA HIDEO;

INT.CL. : G02B 6/22

TITLE : DISPERSION SHIFTING OPTICAL
FIBER



ABSTRACT : PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a dispersing shifting optical fiber having refractive index distribution capable of sufficiently controlling a zero dispersion wavelength by only adjusting the difference of specific refractive index by providing a first side core having a refractive index lower than a center core on its outside, a second side core having a refractive index lower than the first side core on its outside and a clad having a refractive index lower than the second side core on its outside.

SOLUTION: The circumference of a center core 11 is surrounded with a first side core 12 having a lower refractive index than the core and the first side core 12 is surrounded by a second side core 13 having a lower refractive index than the first core. The second side core 13 is covered with a clad 14 having a lower refractive index than the second core. By representing the refractive indices of the center core 11, the first side core 12 and the clad by n_1 , n_2 , n_4 , the ratio $\Delta 2/\Delta 1$ of the difference of specific refractive index of the first side core $\Delta 2=(n_2-n_4)/n_2$ to the difference of specific refractive index of $\Delta 1=(n_1-n_4)/n_1$ is preferably $0.05 \leq \Delta 2/\Delta 1 \leq 0.4$.

COPYRIGHT: (C)1998,JPO

BEST AVAILABLE COPY

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-78524

(43) 公開日 平成10年(1998) 3月24日

(51) Int.Cl.⁶

G 0 2 B 6/22

識別記号

庁内整理番号

F I

G 0 2 B 6/22

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数13 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願平8-235578

(22) 出願日 平成8年(1996) 9月5日

(71) 出願人 000002060

信越化学工業株式会社

東京都千代田区大手町二丁目6番1号

(72) 発明者 小山田 浩

群馬県安中市磯部2丁目13番1号 信越化

学工業株式会社精密機能材料研究所内

(72) 発明者 荻野 剛

群馬県安中市磯部2丁目13番1号 信越化

学工業株式会社精密機能材料研究所内

(72) 発明者 平沢 秀夫

群馬県安中市磯部2丁目13番1号 信越化

学工業株式会社精密機能材料研究所内

(74) 代理人 弁理士 小宮 良雄

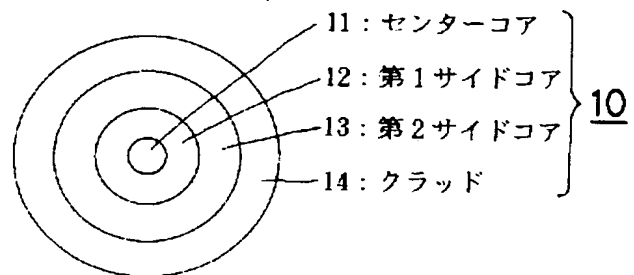
(54) 【発明の名称】 分散シフト光ファイバー

(57) 【要約】

【課題】 センターコア径やサイドコアの厚みを調整しなくても、サイドコアの比屈折率差を調整するだけで零分散波長を十分に制御できる屈折率分布を持つ分散シフト光ファイバーを提供する。

【解決手段】 分散シフト光ファイバー10は、センターコア11と、センターコア11の外側にセンターコア11より低屈折率な第1サイドコア12と、第1サイドコア12の外側に第1サイドコア12より低屈折率な第2サイドコア13と、第2サイドコア13の外側に第2サイドコア13よりも低屈折率なクラッド14とを有するものである。

図 1



【特許請求の範囲】

【請求項1】 センターコアと、センターコアの外側にセンターコアより低屈折率な第1サイドコアと、第1サイドコアの外側に第1サイドコアより低屈折率な第2サイドコアと、第2サイドコアの外側に第2サイドコアよりも低屈折率なクラッドとを有することを特徴とする分散シフト光ファイバー。

【請求項2】 材質が石英系であって伝送波長の帯域が1550nm帯域であることを特徴とする請求項1に記載の分散シフト光ファイバー。

【請求項3】 該センターコアの屈折率を n_1 、第1サイドコアの屈折率を n_2 、該クラッドの屈折率を n_4 としたときの、該第1サイドコアの比屈折率差 $\Delta 2 = (n_2 - n_4) / n_2$ の、該センターコアの比屈折率差 $\Delta 1 = (n_1 - n_4) / n_1$ に対する比率 $\Delta 2 / \Delta 1$ が $0.05 \leq \Delta 2 / \Delta 1 \leq 0.4$

であることを特徴とする請求項1に記載の分散シフト光ファイバー。

【請求項4】 該第1サイドコアの屈折率を n_2 、該第2サイドコアの屈折率を n_3 、該クラッドの屈折率を n_4 としたときの、該第2サイドコアの比屈折率差 $\Delta 3 = (n_3 - n_4) / n_3$ の、該第1サイドコアの比屈折率差 $\Delta 2 = (n_2 - n_4) / n_2$ に対する比率 $\Delta 3 / \Delta 2$ が $0.1 \leq \Delta 3 / \Delta 2 \leq 0.9$

であることを特徴とする請求項1に記載の分散シフト光ファイバー。

【請求項5】 該第2サイドコアの半径 a_3 の、該センターコアの半径 a_1 に対する比率 a_3 / a_1 が $2 \leq a_3 / a_1 \leq 7$

であることを特徴とする請求項1に記載の分散シフト光ファイバー。

【請求項6】 該第1サイドコアの厚み $a_2 - a_1$ の、該第1サイドコアと該第2サイドコアとの厚み合計 $a_3 - a_1$ に対する比率 $(a_2 - a_1) / (a_3 - a_1)$ が $0.2 \leq (a_2 - a_1) / (a_3 - a_1) \leq 0.8$

であることを特徴とする請求項1に記載の分散シフト光ファイバー。

【請求項7】 伝送波長の帯域が1550nm帯域であり、モードフィールド径MFDが $7.0 \mu\text{m} \leq \text{MFD} \leq 9.0 \mu\text{m}$

であることを特徴とする請求項1に記載の分散シフト光ファイバー。

【請求項8】 零分散波長 λ_0 が $1525 \text{ nm} \leq \lambda_0 \leq 1575 \text{ nm}$

であることを特徴とする請求項1に記載の分散シフト光ファイバー。

【請求項9】 零分散波長 λ_0 が $1536 \text{ nm} \leq \lambda_0 \leq 1586 \text{ nm}$

であることを特徴とする請求項1に記載の分散シフト光ファイバー。

【請求項10】 波長が1550nmにおける分散値が $1.0 \leq \text{分散値} \leq 5.0$

であることを特徴とする請求項1に記載の分散シフト光ファイバー。

【請求項11】 波長が1550nmにおける分散値が $-5.0 \leq \text{分散値} \leq -1.0$

であることを特徴とする請求項1に記載の分散シフト光ファイバー。

【請求項12】 カットオフ波長 λ_c が $1.0 \mu\text{m} \leq \lambda_c \leq 1.5 \mu\text{m}$

であることを特徴とする請求項1に記載の分散シフト光ファイバー。

【請求項13】 カットオフ波長 λ_c が $1.0 \mu\text{m} \leq \lambda_c \leq 1.3 \mu\text{m}$

であることを特徴とする請求項1に記載の分散シフト光ファイバー。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光通信等に利用されるシングルモードの光ファイバーであって零分散波長のものに関する。

【0002】

【従来の技術】石英系シングルモード光ファイバーは、例えばLuc B. Jeunhomme, "Single-mode Fiber Optics—Principles and Applications—", p.98 (1990)に記載されているように、理論上、1550nm付近の光の伝送損失が最小である。このため1550nm帯の光伝送できる分散シフト光ファイバーが実用化されている。

【0003】特公平3-18161号公報には、1550nm帯で波長分散がゼロになるように屈折率分布が設計されている分散シフト光ファイバーが開示されている。すなわち図9にその断面を示すように、分散シフト光ファイバー20はセンターコア21とサイドコア22とクラッド23からなる。その屈折率分布は図10に示すような階段型である。このような階段型構造にすることで、材料の波長分散と導波路の波長分散とが相互に打ち消しあって1550nm帯における波長分散がゼロになる。

【0004】一方、海底ケーブル等、長距離の光ファイバー通信における中継器として、従来の「光—電気（増幅）—光」という経緯をとる増幅器に変わって、エルビウムドープファイバーにより光エネルギーそのものを励起する増幅器（EDFA：Erbium Doped Fiber Amplifier）が用いられるようになってきた。EDFAシステムでは、増幅できる波長帯域が1550nm帯に一致しているため、上記の分散シフト光ファイバーを組み合わせる使用するには、格好である。

【0005】しかしながら、EDFAシステムでは、信号光そのものの増幅を繰り返して長距離伝送するため、光学非線型効果が蓄積して信号が劣化してしまうという問題が浮上してきた。従来の「光—電気（増幅）—光」

の増幅システムでは、このような信号劣化は起こらない。

【0006】信号劣化の原因になる光学非線型効果には、誘導ラマン散乱、誘導ブリュアン散乱、自己位相変調、相互位相変調、4光波混合がある。これらの現象を低減するには、信号光の出力やファイバーの光学特性を調整する必要がある。このうちファイバー特性に関与する重要な現象は、4光波混合である。4光波混合は、異なる周波数の光が相互作用して新たな周波数の光を生じる現象である。信号光とEDFAの自然放光(ASE: Amplifier Spontaneous Emission)との間や、波長多重システム場合に信号光どうしの間に4光波混合が発生すると、S/N(信号対雑音比)の低下やクロストークの原因となる。4光波混合の生じ易さは、光信号の位相マッチングに依存する。このため4光波混合を防止する手段として、信号波長の波長分散値の絶対値を大きくすること、すなわち信号波長と零分散波長とを一致させないことが検討されている。

【0007】D. Marcuse, "Single-Channel Operation in Very Long Nonlinear Fibers with Optical Amplifiers at Zero Dispersion", J. Lightwave Technol., Vol. 9, No. 3 (1991), pp. 356-361には、1チャンネルのEDFAシステムでは増幅ゲインがピークとなる1558.5nm付近を信号波長として使用すること、ASEノイズとの干渉を避けるために分散値の異なるファイバーを鋸刃状に接続していることが示されている。

【0008】米国特許第5,327,516号明細書には、4チャンネルの波長多重通信でチャンネル間隔250GHzとしたときの伝送容量と波長分散との関係が記載されている。信号波長の分散をOps/km・nmに近づけたとき、伝送容量は急速に悪化して1Gbit/s以下となってしまうが、分散の絶対値を1ps/km・nmにすれば10Gbit/s以上の伝送容量を確保できる。分散スローフが約0.08ps/km・nm前後であるから、伝送容量を確保するには零分散波長と信号波長とを数nmから数十nm離す必要がある。

【0009】このように分散シフト光ファイバーには、信号波長と零分散波長とが一致した零分散タイプ、信号波長と零分散波長とが一致しない非零分散タイプがある。非零分散タイプは、信号波長の違いや信号波長の分散値の正負の違い等によって多品種になりつつある。ところが非零分散タイプの品種は、零分散波長は異なるが、他光学特性、例えばカットオフ波長やモードフィールド径がほぼ同一となる。したがって、ファイバーの用途に合わせて零分散波長だけを作り分ける必要がある。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】本発明の発明者は、分散シフト光ファイバーを研究のため試作し、種々の検討をした結果、以下の所見を得た。

【0011】図9の分散シフト光ファイバー20の屈折

率分布は、図10に示すとおりで、 n_1 がセンターコア21の屈折率、 n_2 がサイドコア22の屈折率、 n_3 がクラッド23の屈折率、 a_1 がセンターコア21の半径、 a_2 がサイドコア22の半径、すなわちセンターコア21の半径 a_1 とサイドコア22の厚みとの総和である。

【0012】図11は、分散シフト光ファイバー20のカットオフ波長 λ_c と零分散波長 λ_o との関係(実線)、およびカットオフ波長 λ_c とモードフィールド径MFDとの関係(点線)を示している。この分散シフト光ファイバー20は、センターコア21の比屈折率差 $\Delta 1 = (n_1 - n_3) / n_1$ 、サイドコア22の比屈折率差 $\Delta 2 = (n_2 - n_3) / n_2$ 、センターコア21の半径 a_1 に対するサイドコア22の半径 a_2 の比率 $R_{a_2} = a_2 / a_1$ を変えずに、クラッド23の厚みだけを変えて外径125 μm に作製したものである。零分散波長 λ_o の変化率 $d\lambda_o / d\lambda_c$ が最小になる点Pのクラッド厚みを設定することで、分散シフト光ファイバー20の零分散波長 λ_o の変動が抑制される。

【0013】点Pにおける零分散波長 λ_{op} 、カットオフ波長 λ_{cp} 、モードフィールド径MFD p と比屈折率差 $\Delta 1$ 、比屈折率差 $\Delta 2$ 、サイドコア半径比率 R_{a_2} との関係を図12に示す。図12の(0-1)は比屈折率差 $\Delta 1$ の変動に対する零分散波長 λ_{op} の変化、同じく(C-1)はカットオフ波長 λ_{cp} の変化、(M-1)はモードフィールド径MFD p の変化を示している。(0-2)は比屈折率差 $\Delta 2$ の変動に対する零分散波長 λ_{op} の変化、同じく(C-2)はカットオフ波長 λ_{cp} の変化、(M-2)はモードフィールド径MFD p の変化を示している。(0-3)はサイドコア半径比率 R_{a_2} の変動に対する零分散波長 λ_{op} の変化、同じく(C-3)はカットオフ波長 λ_{cp} の変化、(M-3)はモードフィールド径MFD p の変化を示している。これら図12から分かるように、分散シフト光ファイバー20は、零分散波長 λ_{op} を変えるために比屈折率差 $\Delta 1$ 、比屈折率差 $\Delta 2$ 、サイドコア半径比率 R_{a_2} を変えると、カットオフ波長 λ_{cp} やモードフィールド径MFD p も変化してしまう。

【0014】図13はカットオフ波長 λ_{cp} 、モードフィールド径MFD p を一定にしたとき、零分散波長 λ_{op} に対する比屈折率差 $\Delta 1$ (A)、比屈折率差 $\Delta 2$ (B)、サイドコア半径比率 R_{a_2} と(C)の関係を示した図である。カットオフ波長 $\lambda_{cp} = 1.3\mu\text{m}$ 、モードフィールド径MFD $p = 8.5\mu\text{m}$ である。同図より零分散波長 λ_{op} に対しては、比屈折率差 $\Delta 2$ 、サイドコア半径比率 R_{a_2} の制御が重要なことがわかる。

【0015】図14には、分散シフト光ファイバー20のプリフォームを製造する原料である多孔質母材200の製造装置の概略が示してある。多孔質母材200に向けて第1バーナ41、第2バーナ42、第3バーナ43が配置されている。第1バーナ41、第2バーナ42、第3バーナ43は、図15にその正面を示すように、同

心円多重管バーナであり、中心空孔45は水素が流出し、空孔46は酸素が流出し、空孔47は SiCl_4 が流出し、最外空孔48は GeCl_4 が流出するようになっている。多孔質母材200を製造するには、種棒に向けて、第1バーナ41から火炎形成用ガスとして水素および酸素を流し、さらにガラス原料の SiCl_4 およびドーパントの GeCl_4 を流す。第1バーナ41の火炎中で生成したガラス微粒子が噴出し種棒（多孔質母材200）に堆積し、その部分がセンターコア201となる。第2バーナ42にも水素、酸素、 SiCl_4 および GeCl_4 を流し、ガラス微粒子が堆積した部分がサイドコア202になる。第3バーナ43には水素、酸素および SiCl_4 を流し、 Ge がドーパされないガラス微粒子が噴出して堆積した部分がクラッド203になる。こうして作製した多孔質母材200を焼成して透明化させると光ファイバー母材（プリフォーム）となる。このプリフォームを線引して分散シフト光ファイバーができあがる。

【0016】上記のように分散シフト光ファイバー20で零分散波長 λ_0 を得るには、比屈折率差 $\Delta 2$ 、サイドコア半径比率 R_{a_2} の調整が必要である（図13参照）。図14の装置で多孔質母材200を製造するときに、比屈折率差 $\Delta 2$ は、サイドコア202のドーパントの量、すなわち第2バーナ42から流す GeCl_4 の流量を変化させれば、比較的容易に調整することができる。しかし比屈折率差 $\Delta 2$ だけではなく、サイドコア半径比率 R_{a_2} も調整する必要がある。サイドコア半径比率 R_{a_2} は、基本的にサイドコア202に対する SiCl_4 の流量を変化させることで調整されるが、 SiCl_4 の量だけが変化すると GeCl_4 の相対量が変まって屈折率 n_2 が変化してしまう。屈折率 n_2 を一定に保つためには、 SiCl_4 の流量とともに GeCl_4 の流量も変化させる必要がある。さらに、サイドコア202に対する SiCl_4 の流量が変化するとその成長速度が変化するため、センターコア201の成長速度とのバランスをとるため、各バーナ41、42、43の相対位置や、夫々の酸素や水素の流量までも調整し直さなければならない。

【0017】上記のように従来の分散シフト光ファイバー20で零分散波長にするには、その原料となる多孔質母材を製造するための調整が非常に手間のかかるものとなる。本発明は、このような問題点を解決するためになされたもので、センターコア径やサイドコアの厚みを調整しなくても、サイドコアの比屈折率差を調整するだけで零分散波長を十分に制御できる屈折率分布を持つ分散シフト光ファイバーを提供するものである。

【0018】

【課題を解決するための手段】前記の目的を達成するためになされた本発明の分散シフト光ファイバーは、図1に示されるように、センターコア11と、センターコア11の外側にセンターコア11より低屈折率な第1サイドコア12と、第1サイドコア12の外側に第1サイド

コア12より低屈折率な第2サイドコア13と、第2サイドコア13の外側に第2サイドコア13よりも低屈折率なクラッド14とを有している。

【0019】本発明の分散シフト光ファイバーは、その材質が石英系であって伝送波長の帯域が1550nm帯域であることが好ましい。

【0020】また本発明の分散シフト光ファイバーは、以下のパラメータを持つことが好ましい。

【0021】センターコア11の屈折率を n_1 、第1サイドコア12の屈折率を n_2 、クラッド14屈折率を n_4 としたときの、第1サイドコア12の比屈折率差 $\Delta 2 = (n_2 - n_4) / n_2$ の、センターコア11の比屈折率差 $\Delta 1 = (n_1 - n_4) / n_1$ に対する比率 $\Delta 2 / \Delta 1$ が $0.05 \leq \Delta 2 / \Delta 1 \leq 0.4$ である。

【0022】第1サイドコア12の屈折率を n_2 、第2サイドコア13の屈折率 n_3 、クラッド14の屈折率を n_4 としたときの、第2サイドコア13の比屈折率差 $\Delta 3 = (n_3 - n_4) / n_3$ の、第1サイドコアの比屈折率差 $\Delta 2 = (n_2 - n_4) / n_2$ に対する比率 $\Delta 3 / \Delta 2$ が $0.1 \leq \Delta 3 / \Delta 2 \leq 0.9$ である。

【0023】第2サイドコア13の半径 a_3 の、センターコア11の半径 a_1 に対する比率 a_3 / a_1 が $2 \leq a_3 / a_1 \leq 7$ である。

【0024】第1サイドコア12の厚み $a_2 - a_1$ の、第1サイドコア12と第2サイドコア13との厚み合計 $a_3 - a_1$ に対する比率 $(a_2 - a_1) / (a_3 - a_1)$ が $0.2 \leq (a_2 - a_1) / (a_3 - a_1) \leq 0.8$ である。

【0025】伝送波長の帯域が1550nm帯域であり、モードフィールド径MFDが $7.0 \mu\text{m} \leq \text{MFD} \leq 9.0 \mu\text{m}$ である。

【0026】零分散波長 λ_0 が $1525 \text{ nm} \leq \lambda_0 \leq 1575 \text{ nm}$ である。

【0027】零分散波長 λ_0 が $1536 \text{ nm} \leq \lambda_0 \leq 1586 \text{ nm}$ である。

【0028】波長が1550nmにおける分散値が $1.0 \leq \text{分散値} \leq 5.0$ である。

【0029】波長が1550nmにおける分散値が $-5.0 \leq \text{分散値} \leq -1.0$ である。

【0030】カットオフ波長 λ_c が $1.0 \mu\text{m} \leq \lambda_c \leq 1.5 \mu\text{m}$ である。

【0031】カットオフ波長 λ_c が $1.0 \mu\text{m} \leq \lambda_c \leq 1.3 \mu\text{m}$ である。

【0032】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施例を詳細に説明する。

【0033】図1は本発明を適用する分散シフト光ファイバーの切り口を示す図である。中心部はセンターコア11で、その周囲はセンターコア11よりも屈折率の低い第1サイドコア12で囲まれ、第1サイドコア12はその屈折率より低い屈折率の第2サイドコア13で囲ま

れており、さらに第2サイドコア13はその屈折率より低い屈折率のクラッド14で被われている。

【0034】この分散シフト光ファイバー10の屈折率分布が図2に示されている。横軸は分散シフト光ファイバー10の半径方向であり、縦軸が屈折率である。 n_1 はセンターコア11の屈折率、 n_2 は第1サイドコア12の屈折率、 n_3 は第2サイドコア13の屈折率、 n_4 はクラッド14の屈折率である。 a_1 はセンターコア11の半径である。 a_2 は第1サイドコア12の半径、すなわちセンターコア11の半径と第1サイドコア12の厚みとの和である。 a_3 は第2サイドコア13の半径、すなわちセンターコア11の半径と第1サイドコア12の厚みと第2サイドコア13の厚みとの総和である。

【0035】図3は分散シフト光ファイバー10のカットオフ波長 λ_c と零分散波長 λ_o との関係(実線)、およびカットオフ波長 λ_c とモードフィールド径MFDとの関係(点線)を示している。この分散シフト光ファイバー10は、センターコア11の比屈折率差 $\Delta 1 = (n_1 - n_4) / n_1$ 、第1サイドコア12の比屈折率差 $\Delta 2 = (n_2 - n_4) / n_2$ 、第2サイドコア13の比屈折率差 $\Delta 3 = (n_3 - n_4) / n_3$ 、センターコア11の半径 a_1 に対する第1サイドコア12の半径 a_2 の比率 $R_{a_2} = a_2 / a_1$ 、センターコア11の半径 a_1 に対する第2サイドコア13の半径 a_3 の比率 $R_{a_3} = a_3 / a_1$ を変えずに、クラッド14の厚みだけを変えて外径125 μm に作製してある。図3から分かるようにこの分散シフト光ファイバー10も、従来の分散シフト光ファイバー20と同様(図9参照)、零分散波長 λ_o の変化率 $d\lambda_o / d\lambda_c$ が最小になる点Qが存在する。そのときの零分散波長が $\lambda_o q$ 、カットオフ波長が $\lambda_c q$ である。

【0036】分散シフト光ファイバー10(第1サイドコア半径比率 R_{a_2} 、第2サイドコア半径比率 R_{a_3} はともに一定)の点Qにおける零分散波長 $\lambda_o q$ 、カットオフ波長 $\lambda_c q$ 、モードフィールド径MFD q と比屈折率差 $\Delta 1$ 、比屈折率差 $\Delta 2$ 、比屈折率差 $\Delta 3$ との関係を図4に示す。同図の(0-1)は比屈折率差 $\Delta 1$ の変動に対する零分散波長 $\lambda_o q$ の変化、同じく(C-1)はカットオフ波長 $\lambda_c q$ の変化、(M-1)はモードフィールド径MFD q の変化を示している。(0-2)は比屈折率差 $\Delta 2$ の変動に対する零分散波長 $\lambda_o q$ の変化、同じく(C-2)はカットオフ波長 $\lambda_c q$ の変化、(M-2)はモードフィールド径MFD q の変化を示している。(0-3)は比屈折率差 $\Delta 3$ の変動に対する零分散波長 $\lambda_o q$ の変化、同じく(C-3)はカットオフ波長 $\lambda_c q$ の変化、(M-3)はモードフィールド径MFD q の変化を示している。これら図4から分かるように、分散シフト光ファイバー10は、比屈折率差 $\Delta 1$ 、比屈折率差 $\Delta 2$ 、比屈折率差 $\Delta 3$ を調整することで零分散波長 $\lambda_o q$ 、カットオフ波長 $\lambda_c q$ 、モード

フィールド径MFD q を制御できる。

【0037】図5はカットオフ波長 $\lambda_c q = 1.3\mu\text{m}$ 、モードフィールド径MFD $q = 8.5\mu\text{m}$ と一定にしたとき、零分散波長 $\lambda_o q$ に対する比屈折率差 $\Delta 1$ (A)、比屈折率差 $\Delta 2$ (B)、比屈折率差 $\Delta 3$ (C)の関係を示した図である。このとき第1サイドコア半径比率 R_{a_2} 、第2サイドコア半径比率 R_{a_3} は一定に保たれている。

【0038】図6には、本発明の分散シフト光ファイバー10のプリフォームを製造する原料である多孔質母材100の製造装置の概略が示してある。多孔質母材100に向けて第1バーナ31、第2バーナ32、第3バーナ33、および第4バーナ34が配置されている。第1バーナ31、第2バーナ32、第3バーナ33、および第4バーナ34は、図15にその正断面を示すように、同心円多重管バーナであり、中心空孔45は水素が流出し、空孔46は酸素が流出し、空孔47は SiCl_4 が流出し、最外空孔48は GeCl_4 が流出するようになっている。多孔質母材100を製造するには、種棒に向けて、第1バーナ31から火炎形成用ガスとして水素および酸素を流し、さらにガラス原料の SiCl_4 およびドーパントの GeCl_4 を流す。第1バーナ31の火炎中で生成したガラス微粒子が噴出し種棒(多孔質母材100)に堆積し、その部分がセンターコア101となる。第2バーナ32にも水素、酸素、 SiCl_4 および GeCl_4 を流し、ガラス微粒子が堆積した部分が第1サイドコア102になる。第3バーナ33にも水素、酸素、 SiCl_4 および GeCl_4 を流し、ガラス微粒子が堆積した部分が第2サイドコア103になる。第4バーナ34には水素、酸素および SiCl_4 を流し、 Ge がドーパされないガラス微粒子が噴出して堆積した部分がクラッド104になる。こうして作製した多孔質母材100を焼成して透明化させると、光ファイバー母材(プリフォーム)となる。このプリフォームを線引して本発明の分散シフト光ファイバー10ができる。

【0039】上記のように、分散シフト光ファイバー10は、比屈折率差 $\Delta 2$ および比屈折率差 $\Delta 3$ の調整をするだけで零分散波長 $\lambda_o q$ を得ることができる。比屈折率差 $\Delta 2$ および比屈折率差 $\Delta 3$ の調整は、原料である多孔質母材100の製造に際して、第2バーナ32および第3バーナ33に供給するドーパント(上記実施例では GeCl_4)の流量を変化させればよいから、多孔質母材100の製造が容易なものとなる。

【0040】実験例1

図6の製造装置により、表1に示す製造条件で多孔質母材を試作した。

【0041】

【表1】

表 1

	バーナ3 1	バーナ3 2	バーナ3 3	バーナ3 4
酸素 流量	3.0 l/min	4.5 l/min	5.5 l/min	15.0 l/min
水素 流量	3.0 l/min	5.0 l/min	6.0 l/min	20.0 l/min
SiCl ₄ 流量	50 cc/min	180 cc/min	250 cc/min	0.5 l/min
GeCl ₄ 流量	5 cc/min	14 cc/min	10 cc/min	—

【0042】試作された多孔質母材を焼成して透明化させたプリフォームを線引して分散シフト光ファイバーを得た。このプリフォームの屈折率プロファイル（得られた分散シフト光ファイバーの屈折率プロファイルと相似）は図7中に実線で描かれた(a)実験例1のようになる。図8の(a)には、この分散シフト光ファイバーのカットオフ波長 λ_c と零分散波長 λ_o との関係（実線）、およびカットオフ波長 λ_c とモードフィールド径MFD

との関係（点線）が示してある。尚、点Q1に相当するクラッドの厚みは、クラッド外付け方法（不図示）によって調整されている。

【0043】実験例2

図6の製造装置により、表2に示す製造条件で多孔質母材を試作した。

【0044】

【表2】

表 2

	バーナ3 1	バーナ3 2	バーナ3 3	バーナ3 4
酸素 流量	3.0 l/min	4.5 l/min	5.5 l/min	15.0 l/min
水素 流量	3.0 l/min	5.0 l/min	6.0 l/min	20.0 l/min
SiCl ₄ 流量	50 cc/min	180 cc/min	250 cc/min	0.5 l/min
GeCl ₄ 流量	5 cc/min	12 cc/min	12 cc/min	—

【0045】試作された多孔質母材を焼成して透明化させたプリフォームを線引して分散シフト光ファイバーを得た。このプリフォームの屈折率プロファイル（得られた分散シフト光ファイバーの屈折率プロファイルと相似）は図7中に点線で描かれた(b)実験例2のようになる。図8の(b)には、この分散シフト光ファイバーのカットオフ波長 λ_c と零分散波長 λ_o との関係（実線）、およびカットオフ波長 λ_c とモードフィールド径MFD

との関係（点線）が示してある。尚、点Q2に相当するクラッドの厚みは、クラッド外付け方法によって調整されている。

【0046】実験例1および実験例2により得られた分散シフト光ファイバーの伝送特性を表3に示す。

【0047】

【表3】

表 3

	(a)実験例 1	(b)実験例 2
カットオフ波長 λ_c	1.24 μm	1.24 μm
モードフィールド径 MFD	8.05 μm	8.06 μm
零分散波長 λ_o	1569 nm	1584 nm

【0048】

【発明の効果】本発明の分散シフト光ファイバーは、比屈折率差の調整で零分散波長を得ることができるようになった。従来の構造の分散シフト光ファイバーではサイドコア半径比率を調整する必要があるため、原料の母材の製造に際して、複数のバーナの相対位置や、夫々の酸

素や水素の流量を調整する必要があった。しかし本発明の構造とすることにより、比屈折率差を調整するには、原料の母材の製造に際して、バーナに供給するドーパントの流量だけを変化させればよく、従来のようにバーナの相対位置調整等が必要ないから、母材の製造、延いては分散シフト光ファイバーの製造が究めて容易になる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明を適用する分散シフト光ファイバーの切り口を示す図である。

【図2】本発明を適用する分散シフト光ファイバーの屈折率分布を示す図である。

【図3】本発明を適用する分散シフト光ファイバーのカットオフ波長と、零分散波長およびモードフィールド径との関係を示す図である。

【図4】本発明を適用する分散シフト光ファイバーの零分散波長、カットオフ波長、モードフィールド径と、比屈折率差との関係を示す図である。

【図5】本発明を適用する分散シフト光ファイバーの比屈折率差と零分散波長との関係を示す図である。

【図6】本発明を適用する分散シフト光ファイバーを作製する装置の概略図である。

【図7】本発明を適用して試作した分散シフト光ファイバーの屈折率プロファイルを示す図である。

【図8】本発明を適用して試作した分散シフト光ファイバーのカットオフ波長と、零分散波長およびモードフィールド径との関係を示す図である。

【図9】従来の分散シフト光ファイバーの切り口を示す図である。

【図10】従来の分散シフト光ファイバーの屈折率分布

を示す図である。

【図11】従来の分散シフト光ファイバーのカットオフ波長と、零分散波長およびモードフィールド径との関係を示す図である。

【図12】従来の分散シフト光ファイバーの零分散波長、カットオフ波長、モードフィールド径と、比屈折率差、サイドコア比との関係を示す図である。

【図13】従来の分散シフト光ファイバーの比屈折率差、サイドコア比と、零分散波長との関係を示した図である。

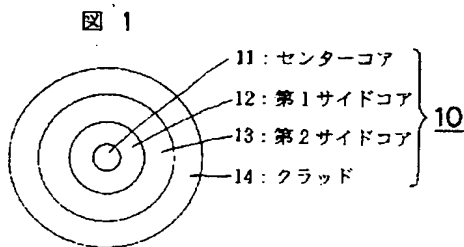
【図14】従来の分散シフト光ファイバーを作製する装置の概略図である。

【図15】同心円多重管バーナの正面図である。

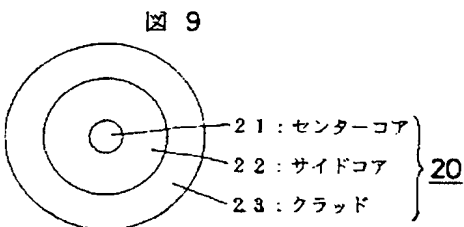
【符号の説明】

10は分散シフト光ファイバー、11はセンターコア、12は第1サイドコア、13は第2サイドコア、14はクラッド、31・32・33・34はバーナ、100は光ファイバー母材、 n_1 はセンターコアの屈折率、 n_2 は第1サイドコアの屈折率、 n_3 は第2サイドコアの屈折率、 n_4 はクラッドの屈折率、 a_1 はセンターコアの半径、 a_2 は第1サイドコアの半径、 a_3 は第2サイドコアの半径である。

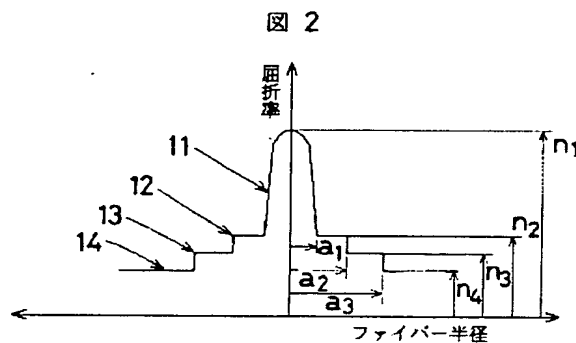
【図1】



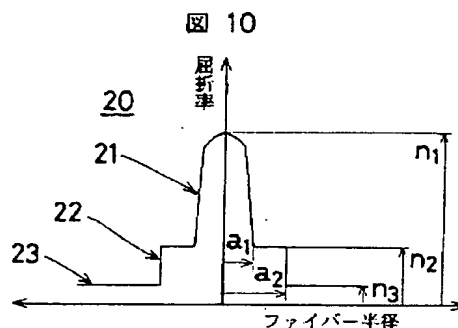
【図9】



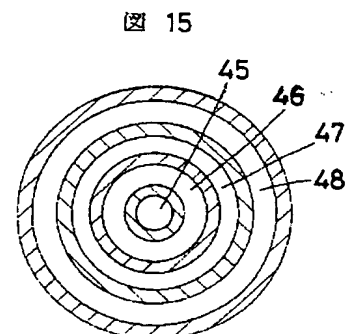
【図2】



【図10】

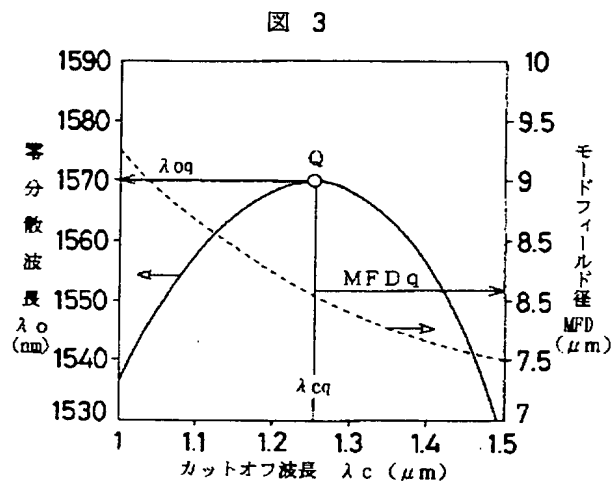


【図15】

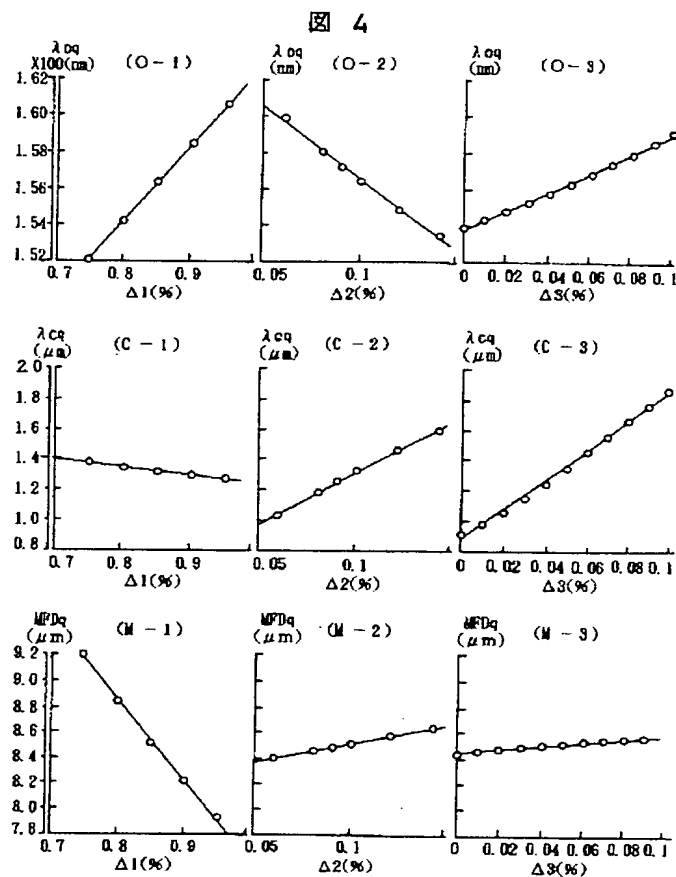


BEST AVAILABLE COPY

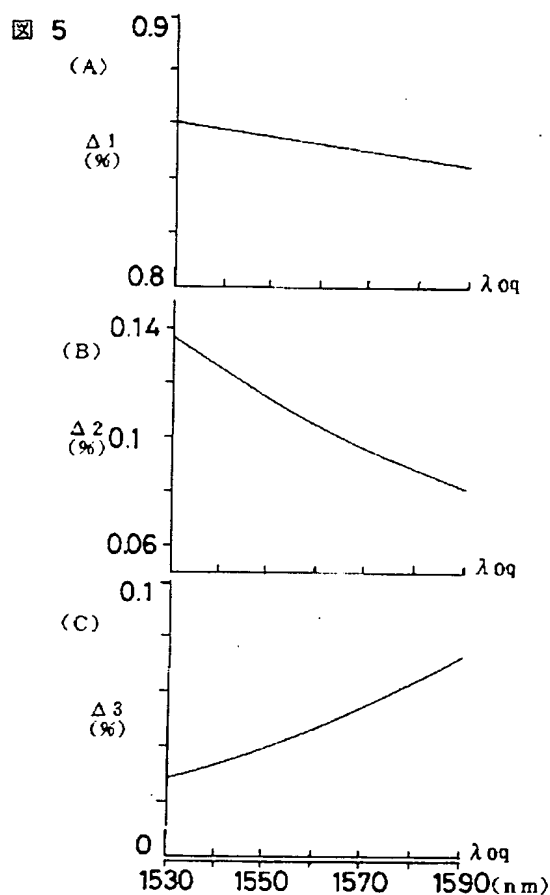
【図3】



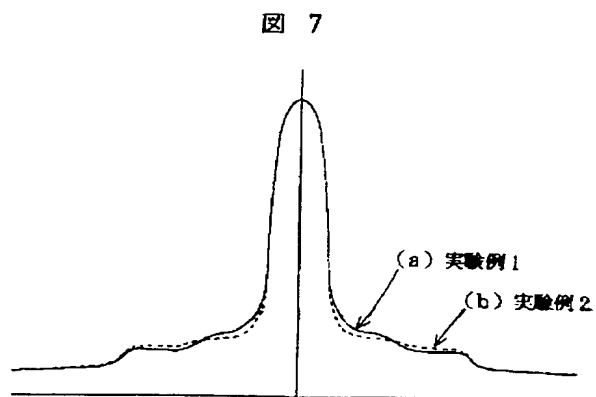
【図4】



【図5】

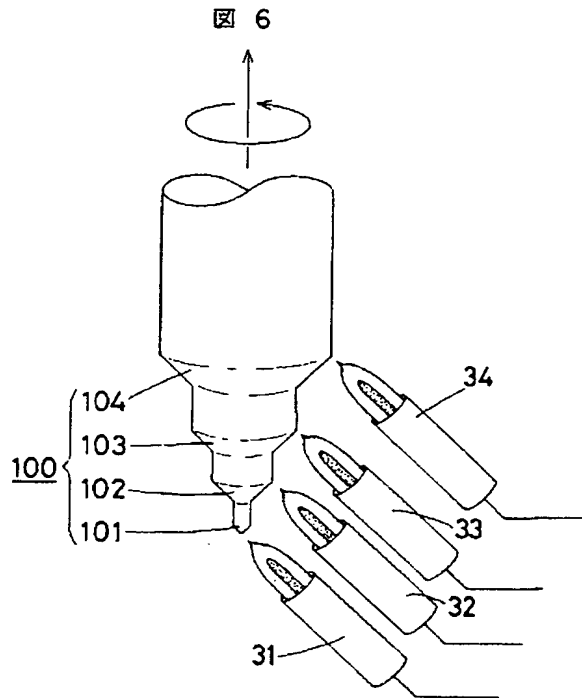


【図7】

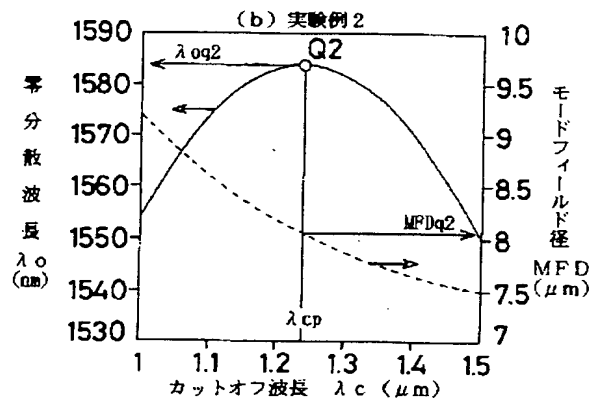
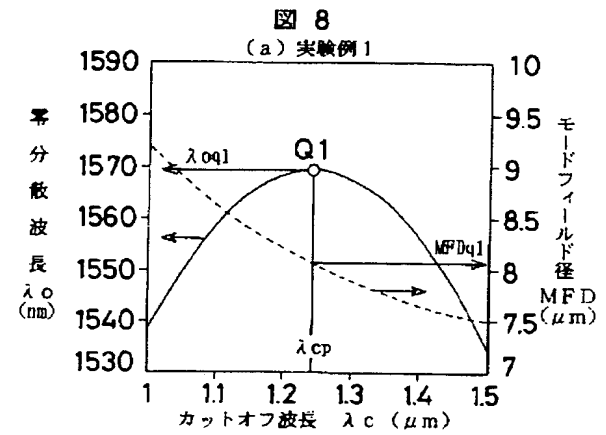


BEST AVAILABLE COPY

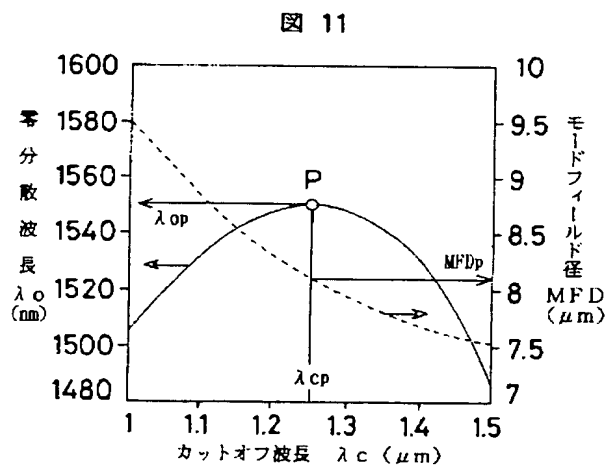
【図6】



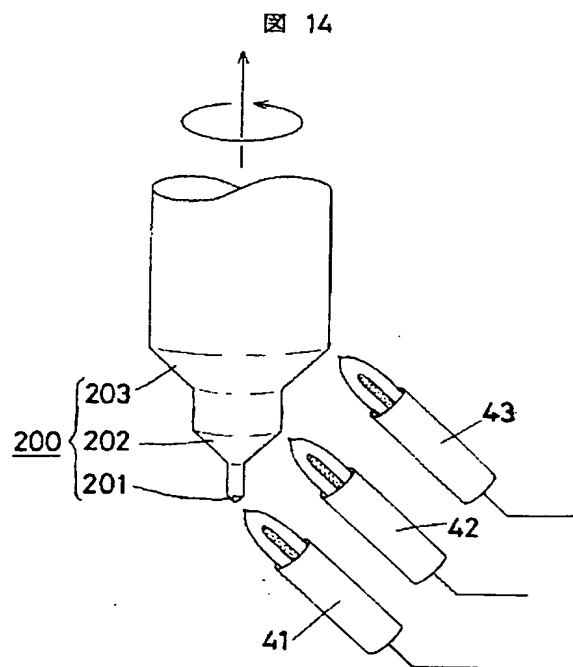
【図8】



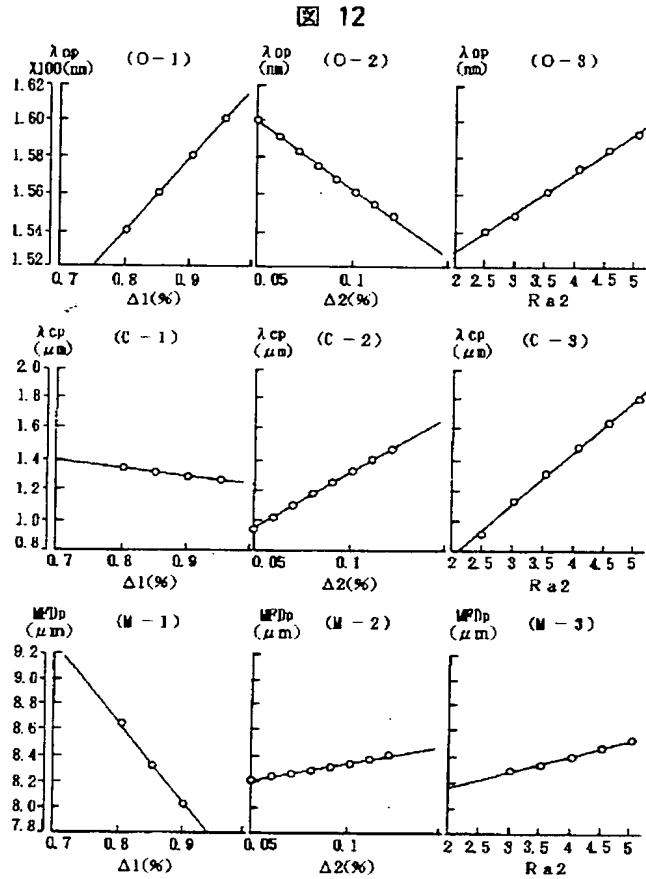
【図11】



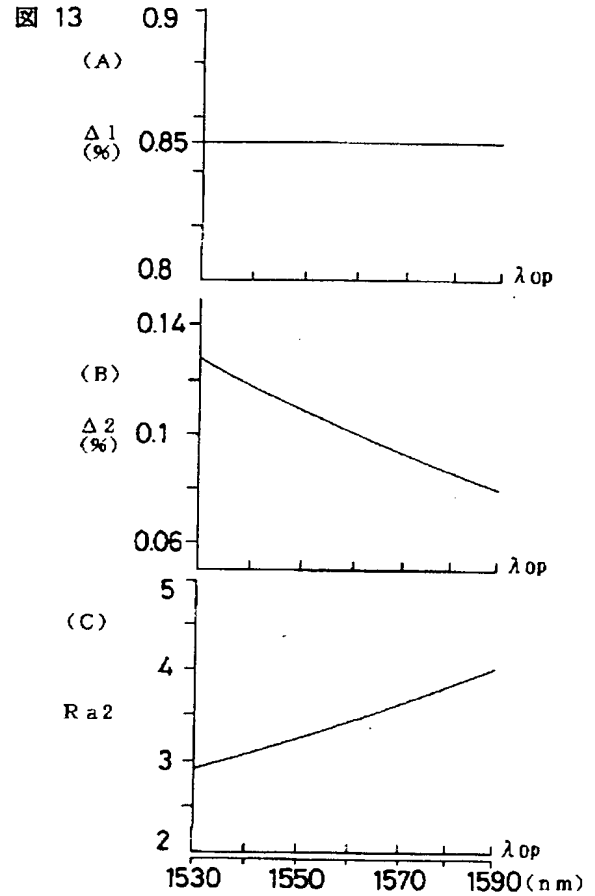
【図14】



【図12】



【図13】



BEST AVAILABLE COPY